Fotoeffekt und linearer Potenzialtopf

Aufgaben

1 Wilhelm Hallwachs untersuchte als einer der ersten Physiker den Fotoeffekt. Er wies nach, dass durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (UV-Licht) eine negativ geladene, isoliert aufgestellte Metallplatte entladen wird.
Erklären Sie die genannte Beobachtung und beurteilen Sie, ob eine neutrale, isoliert aufgestellte Platte durch den Fotoeffekt aufgeladen werden kann.

(5 BE)

2 Die von Hallwachs gemachten Beobachtungen wurden durch verschiedene Experimente weiter untersucht. Material 1 zeigt einen Versuch, bei dem eine Vakuumfotozelle mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt wird. Zwischen Ringanode und Kathode wird eine variable Spannung angelegt, die anders als bei der Gegenfeldmethode gepolt ist. Zusätzlich zur Spannung wird jeweils der sich ergebende Fotostrom über ein Amperemeter gemessen.

2.1 Erläutern Sie den sich experimentell ergebenden Kurvenverlauf in Material 2 unter Berücksichtigung des Werts für die Spannung $U = 0\,\text{V}$ sowie des Sättigungseffekts für höhere Spannungen.

(4 BE)

2.2 Im weiteren Versuchsverlauf wird die als punktförmig angenommene Lichtquelle näher an die Fotozelle geschoben.
Skizzieren Sie qualitativ den sich dadurch verändernd ergebenden Kurvenverlauf in Material 2 und erläutern Sie Ihre Skizze.

(4 BE)

3 Um die Austrittsarbeit W_A einer ausgewählten Fotozelle zu bestimmen, wird nun die Gegenfeldmethode zur Untersuchung verwendet. Die Fotozelle wird wieder mit Licht einer bestimmten Wellenlänge λ bestrahlt. Die an die Fotozelle angelegte Spannung wird umgepolt und solange erhöht, bis der Fotostrom zum Erliegen kommt. Dies geschieht bei Licht der Wellenlänge $\lambda_1 = 550\,\text{nm}$ bei einer Spannung von $U_1 = 0{,}31\,\text{V}$.
Entsprechend ergibt sich für die Wellenlänge $\lambda_2 = 350\,\text{nm}$ eine Spannung von $U_2 = 1{,}55\,\text{V}$.

3.1 Erläutern Sie die physikalische Aussage der Einstein'schen Gleichung $E_{kin} = h \cdot f - W_A$.
Berechnen Sie aus den gegebenen Messwerten das Planck'sche Wirkungsquantum h sowie den Betrag der prozentualen Abweichung dieses Werts vom Literaturwert.

(7 BE)

3.2 Bestätigen Sie anhand der Werte für λ_1 und U_1 unter Verwendung des Literaturwerts von h, dass die verwendete Fotozelle eine Austrittsarbeit von $W_A = 1{,}94\,\text{eV}$ besitzt.

(3 BE)

3.3 Leiten Sie für die maximale Geschwindigkeit der ausgelösten Elektronen die Formel

$$v = \sqrt{2 \cdot \left(h \cdot \frac{c}{\lambda} - W_A\right) \cdot \frac{1}{m_e}}$$ her.

Berechnen Sie diese Geschwindigkeit für die Wellenlänge $\lambda_1 = 550\,\text{nm}$ des eingestrahlten Lichts und die Austrittsarbeit $W_A = 1{,}94\,\text{eV}$; begründen Sie, dass relativistische Rechnungen hierbei nicht notwendig sind.

(6 BE)

3.4 Um eine in einem Experiment eingesetzte Messelektronik genau kalibrieren zu können, möchte man die Flugzeit der Elektronen von der Kathode zur Ringanode (Abstand $s = 1\,\text{cm}$) bestimmen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Gegenspannung so eingestellt ist, dass die schnellsten austretenden Elektronen vollständig abgebremst sind, wenn sie die Anode erreichen.
Unter der Annahme einer gleichmäßigen Verzögerung in einem homogenen Feld kann die Flugzeit t der schnellsten Elektronen mit der Formel $t = \sqrt{\frac{2 \cdot s^2 \cdot m_e}{h \cdot f - W_A}}$ berechnet werden.
Bestätigen Sie durch eine Einheitenrechnung, dass es sich bei t tatsächlich um eine Zeit handelt.
Die Kalibrierung wird für verschiedene Frequenzen vorgenommen und in einer Tabelle dokumentiert, wobei die Austrittsarbeit weiterhin $W_A = 1{,}94\,\text{eV}$ beträgt.
Berechnen Sie die fehlenden Werte in Material 3.

(5 BE)

3.5 Die in dieser Aufgabe verwendete Versuchsanordnung ist so empfindlich, dass gelbes Licht ($\lambda = 590\,\text{nm}$), das mit einer Leistung von $P = 1{,}8 \cdot 10^{-18}\,\text{W}$ auf die Kathode trifft, gerade noch detektiert werden kann. Berechnen Sie die Anzahl der Photonen, die bei der Verwendung dieser Wellenlänge mindestens pro Sekunde auftreffen müssen, um detektiert werden zu können.

(4 BE)

4 Neben dem äußeren Fotoeffekt, bei dem Elektronen aus einem Metall ausgelöst werden, besteht auch die Möglichkeit, Atome durch die Einstrahlung von Photonen ohne Auslösung von Elektronen anzuregen. Eine Modellvorstellung zur Beschreibung dieser angeregten Zustände ist der lineare Potenzialtopf. Im Potenzialtopf gilt für die Energiebeträge der Zustände mit der Quantenzahl n: $E_n = \frac{h^2}{8 \cdot m_e \cdot a^2} \cdot n^2$, wobei a für die Länge des Potenzialtopfes steht.

4.1 Nennen Sie drei Grundannahmen, welche für das Modell des linearen Potenzialtopfs mit unendlich hohen Wänden getroffen werden. Skizzieren Sie für ein Elektron im Zustand $n = 3$ den Verlauf der Aufenthaltswahrscheinlichkeit im linearen Potenzialtopf der Länge a.
Erklären Sie, woran in Ihrer Skizze zur Aufenthaltswahrscheinlichkeit zu erkennen ist, dass sich das Elektron in einem Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden befindet.

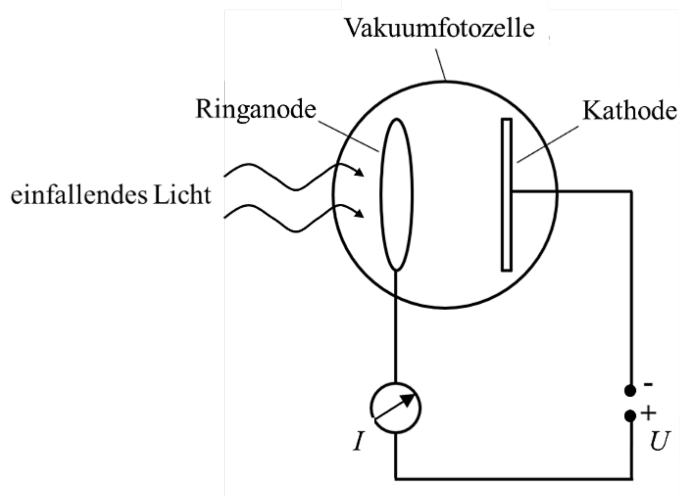
(8 BE)

4.2 Retinal ist ein Farbstoffmolekül, das eine wichtige Funktion beim Sehvorgang in unserem Auge hat. Das Molekül besteht aus einer Kette von Kohlenstoffatomen und kann stark vereinfacht als Potenzialtopf mit 12 frei beweglichen Elektronen modelliert werden. Durch Absorption von Licht der Wellenlänge $\lambda = 500\,\text{nm}$ gelangt das Molekül in den ersten angeregten Zustand.
Berechnen Sie die Länge a des Potenzialtopfes unter der Annahme, dass im Grundzustand die unteren Energieniveaus jeweils mit zwei Elektronen besetzt sind.

(4 BE)

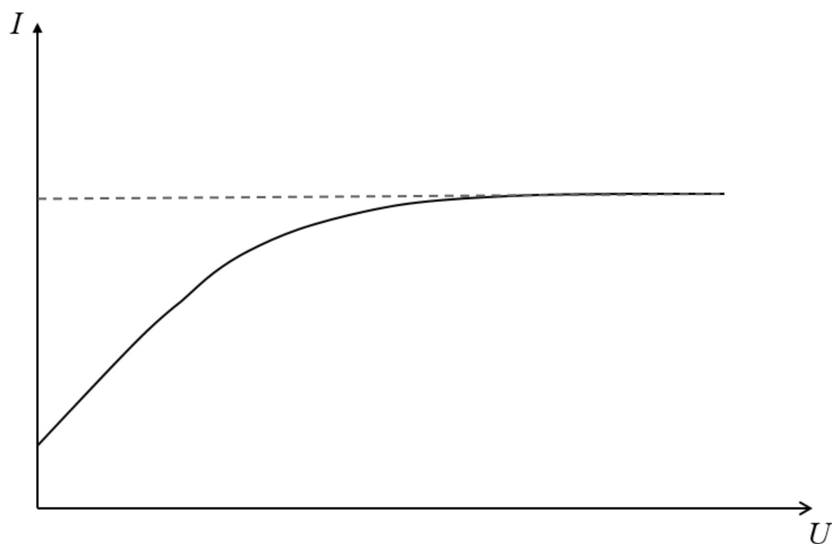
Material 1

Darstellung des Versuchs mit einer Vakuumfotozelle



Material 2

Darstellung der sich ergebenden Messkurve



Material 3

Tabelle zur Kalibrierung der Messelektronik

f in 10^{14} Hz	t in 10^{-8} s
	9,43
6	
7	3,45